

CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS Y MORFODINAMICAS DE LA FRANJA LITORAL CARIBE COLOMBIANA (SECTOR BARRANQUILLA (BOCAS DE CENIZA) - FLECHA DE GALERAZAMBA)

Amparo Molina M., Consuelo Molina M., Luis Giraldo O. y Rodolfo Barrera O.

RESUMEN

Se describen en este trabajo las características geológicas (estratigráficas) y morfodinámicas a lo largo de 76 km del perfil costero del Caribe colombiano, comprendido entre Barranquilla (Bocas de Ceniza) y la Flecha de Galerazamba. Se identifican los tramos del litoral que han sido afectados por eventos erosivos y de acrecimiento sedimentario, algunos de ellos asociados tanto a fenómenos naturales como antrópicos. Geológicamente, el borde costero está definido por rocas sedimentarias y sedimentos débilmente consolidados e inconsolidados, que comprenden edades desde el Paleoceno Superior hasta el Reciente. Desde el punto de vista de la evaluación del litoral en términos de estabilidad e inestabilidad, se clasifican las costas altas como: Zonas críticas (Punta Sabanilla, El Castillo y Pradomar), zonas inestables (desde Punta Castillejo hasta Punta la Garita) y zonas estables (Plataformas de abrasión elevadas de Puerto Caimán y Galerazamba). Las costas bajas se catalogaron como altamente erosivas (playas asociadas a la Ciénaga de Mallorquín, parte noreste de la Espiga de Puerto Colombia, norte de la Punta Morro Hermoso y frente a Salinas de Galerazamba) y en acrecimiento sedimentario (tramo comprendido desde la parte distal de la Espiga de Puerto Colombia hasta el sur de Punta Manzanillo, además de la Flecha de Galerazamba).

PALABRAS CLAVE: Morfodinámica, estratigrafía, zona costera, erosión, sedimentación

ABSTRACT

Stratigraphic and morphodynamic characteristics from the Colombian Caribbean coastline, (zone between Barranquilla (Bocas de Ceniza) and Galerazamba). The geologic (stratigraphic) and morphodynamic characteristics throughout 76 km of the coastal profile of the Colombian Caribbean, including those between Barranquilla (Bocas de Ceniza) and the spit of Galerazamba are described. The sections of the coast that have been affected by erosive events and those with sedimentary accretion are described. Some of them are associated to both natural and anthropic phenomena. Geologically, the coastal edge is defined by sedimentary rocks, weakly consolidated sediments and inconsolidated sediments, that include ages from the upper Paleocene to the Recent. From the point of view of the evaluation of the coast in terms of stability and instability, the high coasts are classified as: Critic zones (Punta Sabanilla, Castillo and Pradomar), unstable zones (from Punta Castillejo to Punta la Garita) and stable zones (elevated abrasion terraces of Puerto Caimán and Galerazamba). The low coasts were catalogued as highly erosive (beaches associated to the bog of Mallorquín, NE part of the ear of Puerto Colombia, north of Morro Hermoso and in front of the salt mines Galerazamba) and in sedimentary accretion (from the distal part of the ear of Puerto Colombia to the south end of Manzanillo and to the spit of Galerazamba).

KEY WORDS: Morphodynamic stratigraphy, coastal zone, erosion, sedimentation.

INTRODUCCION

El estudio se realizó en la parte septentrional de Suramérica, a lo largo de 76 km del litoral Caribe colombiano, en el sector comprendido entre Barranquilla (Bocas de Ceniza) y la Flecha de Galerazamba, localizados en los departamentos del Atlántico y Bolívar respectivamente (Figura 1).

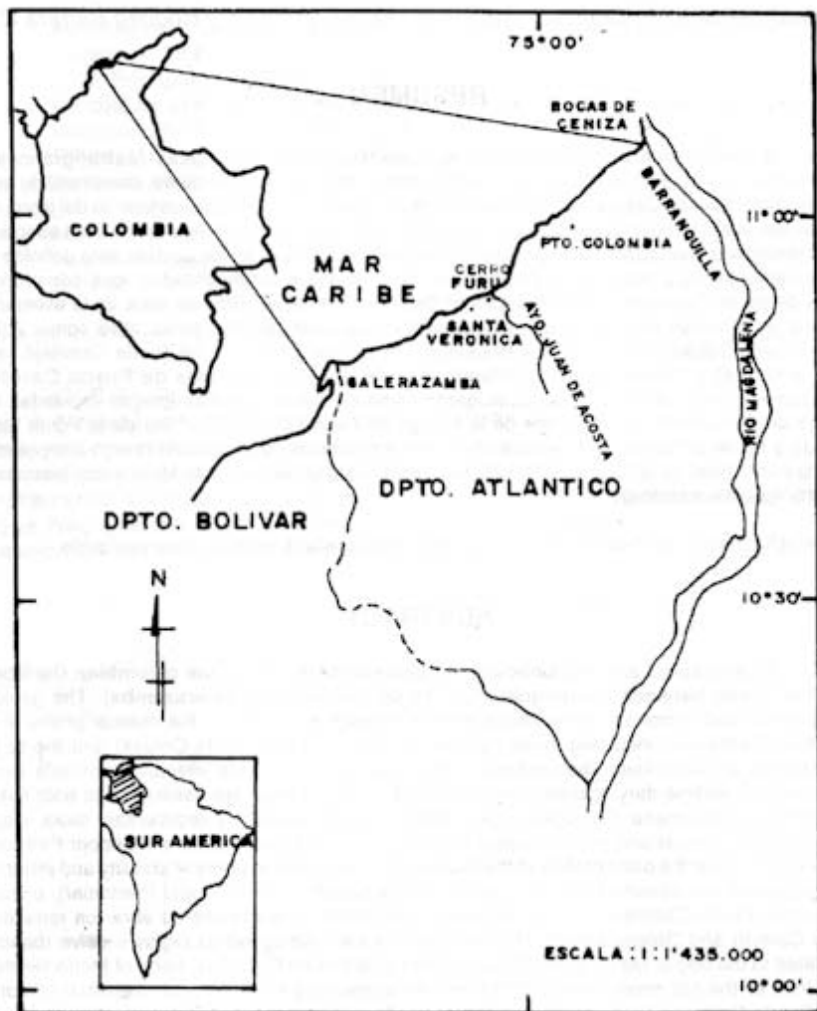


Figura 1. Mapa de localización

La evolución del litoral está influenciada por la interacción de factores tales como la acción de las olas, corrientes marinas, topografía submarina, naturaleza de las formaciones rocosas que afloran en la zona costera, entre otros. Todas estas particularidades hacen que la franja litoral de esta zona se constituya en una de las áreas más dinámicas del Caribe colombiano en cuanto a procesos de erosión y sedimentación.

La información geológica básica, a partir de la cual se evalúan las amenazas geológicas que pueden afectar la población y las obras de infraestructura de esta región del Caribe, fue suministrada a manera de síntesis por INGEOMINAS. Dicha información complementaría un poco más hacia el continente lo expuesto por Martínez (1993) y busca, además, asociar esfuerzos con el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH).

METODOLOGIA

Para identificar las principales unidades geomorfológicas de la zona y determinar las variaciones morfológicas de la línea de costa, inicialmente se efectuó una revisión bibliográfica, sobre una base cartográfica y de fotografías aéreas monocromáticas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (I.G.A.C.) de 1961, 1987 y 1989, (escalas entre 1:10.000 y 1:20.000). La información obtenida del análisis de las fotografías aéreas se restituyó en las planchas del Defense Mapping Agency (DMA) Nos. 1982-I, 1992-IV y 1993-III de 1965 a escala 1:50.000, utilizadas para el reconocimiento y verificación de campo. La actualización del trazo de la línea de costa se realizó mediante el análisis de imágenes de satélite SPOT de 1995 y 1996.

Por observaciones directas de campo, se establecieron los sitios de erosión y de acrecimiento sedimentario a través de evidencias geomorfológicas, tales como escarpes erosivos, fenómenos de sobre lavado (overwash), crestas de playa, entre otros. Posteriormente, se consignaron los resultados sobre los mapas DMA, indicando además de los rasgos morfológicos, las zonas afectadas por fenómenos de erosión y sedimentación.

La información estratigráfica proviene de una revisión bibliográfica, análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite LANDSAT y observaciones de campo. Este tipo de información fue consignada sobre mapas a escala 1: 100.000.

Estratigrafía

En la franja costera comprendida entre Barranquilla (Bocas de Ceniza) y Flecha de Galerazamba afloran rocas sedimentarias y sedimentos, que comprenden edades desde el Paleoceno Superior hasta el Reciente (Figuras 2 y 3).

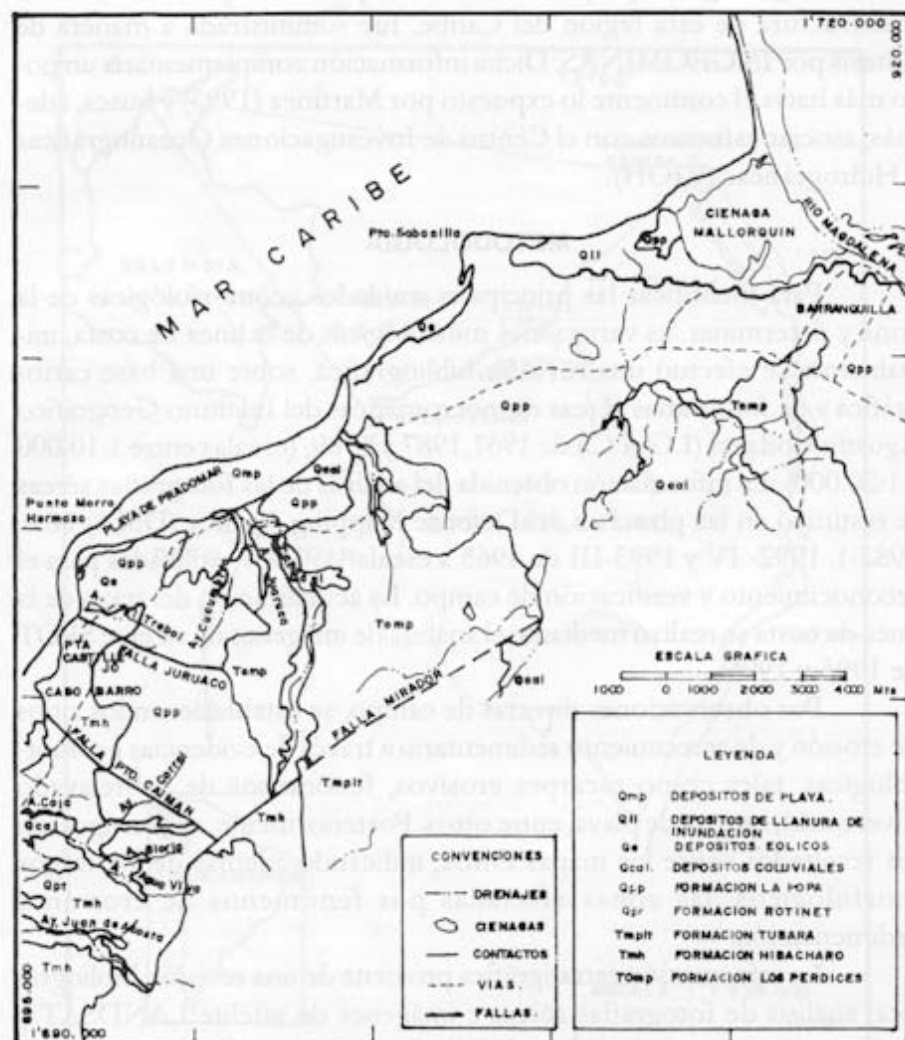


Figura 2. Mapa geológico franja litoral Caribe (Barranquilla - Arroyo Juan de Acosta)

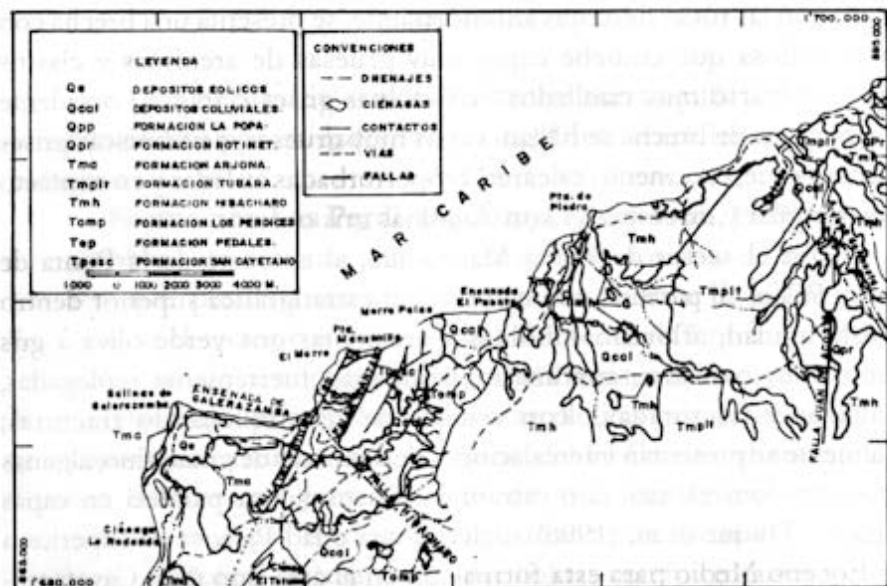


Figura 3. Mapa geológico franja litoral Caribe (Arroyo Juan de Acosta - Flecha de Galerazamba)

La nomenclatura estratigráfica utilizada es la propuesta por Barrera (en preparación) en los recientes estudios llevados a cabo por INGEOMINAS en el área, en la cual se revisa la ya conocida en la literatura (Hoffstetter & De Porta, 1974).

Paleógeno

Las unidades consideradas como del Paleógeno contienen las rocas más antiguas del área y las de mayor complejidad estructural. Constituyen los acantilados del sector litoral al noreste de la Ensenada de Galerazamba, entre la Loma del Morro y Punta de Morro Pelao.

Formación San Cayetano, *Tpesc*, (Chenevart, 1963). Los únicos afloramientos de esta unidad ocurren en los acantilados de las Puntas de Manzanillo y Morro Pelao, al noreste de Galerazamba. No obstante la gran complejidad estructural que presentan estas rocas, a grosso modo la litología de esta unidad en este sector litoral es:

La parte más inferior expuesta consta de areniscas líticas feldespáticas y areniscas feldespáticas de grano fino, localmente con niveles conglomeráticos (gránulos y guijos) e intercalaciones menores de lodolitas en capas delgadas con abundante yeso y azufre. En contacto

fallado con las rocas descritas anteriormente, se presenta una brecha con matriz lodosa que embebe capas muy gruesas de areniscas y clastos tamaño guijarro muy cizallados de lodolitas grises claras. Al occidente de esta zona de brecha se hallan capas muy gruesas, de areniscas grises de grano grueso, cemento calcáreo, bioperturbadas aisladas y en contacto muy irregular y discontinuo con lodolitas gris oscuras.

En el sector de Punta Manzanillo, al suroeste de la Punta de Morro Pelao, al parecer en una posición estratigráfica superior dentro de esta unidad, afloran limolitas y arcillolitas gris verde oliva a gris oscuro muy oxidadas, con azufre, laminadas, fuertemente replegadas, cizalladas y fracturadas, con venillas de yeso rellenando fracturas; localmente se presentan intercalaciones de areniscas de grano fino, algunas veces conglomeráticas, con estratificación ondulosa paralela en capas delgadas. Duque et al. (1996) sugieren una edad Paleoceno superior a pre-Eoceno Medio para esta formación en el área tipo (San Cayetano - Bolívar).

Formación Pendales, Tep, (Henaó, 1951). Los mejores afloramientos de esta unidad están a lo largo de acantilados en la línea de costa, en la Loma del Morro inmediatamente al noreste de la Ensenada de Galerazamba.

En términos generales la unidad está compuesta de secuencias repetitivas granodecipientes de areniscas de grano grueso hasta medio, generalmente conglomeráticas, con niveles discontinuos de conglomerados, que lateralmente pasan a areniscas. Las capas son generalmente gruesas a medianas, plano paralelas hacia la base y onduladas paralelas hacia el techo de los paquetes. Es frecuente encontrar abundantes óxidos de hierro endurecidos y concreciones de areniscas calcáreas y calizas micríticas. Intercaladas dentro de estas secuencias granodecipientes se presentan paquetes de areniscas de grano fino a medio, en capas delgadas a medianas interestratificadas con arcillolitas y limolitas color marrón moderado, muy cizalladas.

Henaó (1951) plantea una edad Oligoceno Medio para esta unidad. Sin embargo, las relaciones estratigráficas entre las Formaciones Las Perdices (Oligoceno), Arroyo Piedra (Eoceno Medio) y La Formación Péndales, en el área de Luruaco, permiten sugerir una edad tentativa Eoceno Medio a Superior.

Neógeno

La mayor parte del sector litoral entre Barranquilla y Galerazamba esta compuesto por unidades litoestratigráficas consideradas como del Neógeno.

Formación Las Perdices, *Tomp*, (Anderson, 1929). Se utiliza este nombre para designar una unidad con predominio de arcillolitas y limolitas que presenta una morfología suave al norte de la Ciénaga del Totumo, en el sector costero comprendido entre la Loma del Morro y Punta Manzanillo, al noreste de Galerazamba y sur de Puerto Colombia. Esta constituida principalmente por arcillolitas gris verde oliva, con abundante microfauna. Hacia el caserío del El Cerrito, al noreste de la Ciénaga del Totumo, presenta facies de areniscas de grano fino, gris amarillentas en capas medianas a delgadas intercaladas con areniscas arcillosas y limolitas ferruginosas y arcillolitas con microfauna.

La microfauna reconocida en los recientes estudios realizados por Barrera (en preparación) al noreste de la Ciénaga del Totumo, indican edades entre el Mioceno Inferior a Medio.

Formación Hibácharo, *Tmh*, (Raasveldt, 1953). Morfológicamente, esta unidad se presenta como una serie de colinas alargadas en sentido N20°E, en las que se destacan las Lomas de San Diego, San Vicente y de, manera un tanto aislada, los Cerros de Mahates, El Sapo, Punta de Piedra y Furú.

En la parte más inferior observada afloran areniscas de grano fino en capas gruesas, intercaladas con arcillolitas gris verde oliva. Interpuestas entre éstas se presentan concreciones elípticas elongadas (km 17, vía del mar, desde Lomarena hacia Barranquilla). Encima de los anteriores, y conformando gran parte del Cerro Mahates, se presentan areniscas conglomeráticas con guijos de cuarzo y chert principalmente y abundantes restos de gasterópodos, bivalvos y equinodermos, infrayaciendo limolitas grises con laminación interna y materia orgánica. Sobre las limolitas se hallan areniscas de grano fino en actitud caótica, muy fracturadas. La parte superior del cerro está constituida por limolitas ferruginosas con abundantes costras de óxidos de hierro.

En los alrededores de la Ensenada de Fray Domingo, por la vía del mar (km 22.3, Lomarena-Barranquilla), afloran areniscas

conglomeráticas de gránulos y guijos y abundantes bioclastos de moluscos; areniscas lumaquéllicas de grano medio a conglomeráticas compactas muy calcáreas e intercalaciones de arcillolitas y areniscas en capas delgadas que hacia la parte terminal presenta nuevamente una capa mediana de areniscas con abundantes macrofósiles (lumaquelas).

En el acantilado del Cerro Furú, afloran hacia la base limolitas y arcillolitas limosas fisiles en capas delgadas, suprayacidas por limolitas gris verde oliva con materia orgánica y fragmentos de moluscos. Encima de éstas, en la parte media superior del cerro, se intercalan limolitas arenosas con areniscas de grano fino; hacia la parte más superior del acantilado prevalecen las areniscas sublíticas de grano fino en capas gruesas. Barrera (en preparación), postula una edad comprendida entre el Mioceno Medio al Mioceno Superior.

Formación Tubará, Tmt, (Anderson, 1926). Esta unidad está expuesta como una franja continua y escarpada con rumbo NS, que progresivamente va cambiando hacia el norte, siendo casi este-oeste en la parte terminal de las serranías Capiro y Pajuancho, en el Cerro Las Viudas. Los afloramientos más cercanos a la línea de costa se hallan en el corte hecho por la vía del mar, justo al norte de Santa Verónica; allí afloran areniscas subarcosicas de grano fino ocasionalmente conglomeráticas, en capas muy gruesas, color gris amarillento, bioturbadas. Contiene concreciones elípticas aplanadas de areniscas calcáreas muy compactas de color gris azulado. Algunas capas de areniscas contienen abundantes restos de bivalvos y gasterópodos.

Con base en las determinaciones realizadas a las muestras micropaleontológicas recolectadas por INGEOMINAS en desarrollo del proyecto "Estudios geológicos de la región Caribe", Barrera (en preparación) propone una edad comprendida entre el Mioceno Superior y el Plioceno.

Formación Arjona, Tma, (Anderson, 1926). Esta unidad conforma una serie de colinas suaves, algunas con formas dómicas que están presentes en los alrededores de Galerazamba; a excepción de los afloramientos encontrados en los acantilados del Faro y de la Punta Juan Moreno Sur, localizados al sur de Galerazamba, la unidad aflora muy poco.

En los acantilados encontrados entre la Punta Juan Moreno y en el faro de la Dirección Marítima de la Armada Nacional (DIMAR), al sur de la población de Galerazamba, afloran hacia la parte inferior lodolitas

marrones muy alteradas interestratificadas con areniscas gradadas normalmente, estratificación ondulosa paralela, muy plegadas y falladas, dentro de estas rocas se presentan nódulos de hasta 2,5 m de diámetro, compuestos por esparitas de grano muy fino que aparentemente han sufrido reemplazamiento. Sobre las anteriores rocas se hallan lodolitas marrón oscuro muy oxidadas intercaladas con areniscas en capas gruesas, conglomeráticas hacia la base y que contienen concreciones y clastos arcillosos. Encima afloran areniscas conglomeráticas granodecrecientes en capas muy gruesas, contienen clastos arcillosos y concreciones de areniscas calcáreas muy compactas.

Anderson (1929) plantea para esta unidad una edad Eoceno. Reyes y otros (en preparación) le asignan una edad Mioceno- Plioceno. Las muestras de microfauna recolectadas por INGEOMINAS en la Punta de Juan Moreno al sur de Galerazamba indican una edad Mioceno, Barrera (en preparación).

Formación Rotinet, Qpr, (Link, 1927). Pequeños parches de esta unidad están presentes discordantemente sobre otras unidades en el Cerro Vigía, en los alrededores de Santa Verónica. Litológicamente consta de una sucesión inconsolidada de lechos de gravas, cuyos cantos varían de tamaño desde gránulos a guijarros, prevalemente guijos de rocas ígneas volcánicas, cuarcitas, cuarzo lechoso y chert y arenas friables cuarzo-feldespáticas de grano medio a grueso de color amarillo.

Link (1927) postula una edad del Pleistoceno antiguo, aunque más recientemente Caro y Otros (1985), con base en evidencias macropaleontológicas, postulan una edad del Pleistoceno Medio Superior para esta unidad.

Formación La Popa, Qpp, (Anderson, 1926). Esta unidad aflora hacia la parte más nororiental del área de estudio en las Lomas de la Risota, Nisperal, Aguas Vivas y Pan de Azúcar en los alrededores de Puerto Colombia. Los acantilados de esta unidad en Pradomar conforman un escarpe vertical de casi 30 m de altura, compuesto hacia la base por areniscas de grano fino, arcillosas de color gris amarillento, cubiertas por calizas coralinas en capas discontinuas delgadas y arcillolitas y limolitas arcillosas de color gris claro en muestra alterada.

Martínez (1993) describe que hacia el sector sur del Cerro El Castillo afloran areniscas de grano grueso a conglomeráticas con cantos

de cuarzo y pequeños fragmentos de conchas, que infrayacen calizas arrecifales, de color crema.

Al norte de Puerto Colombia afloran calizas terrígenas color gris amarillento a amarillo grisáceo, calizas arrecifales terrígenas con abundantes bioclastos de corales, algas y moluscos, en capas gruesas y areniscas calcáreas de grano fino, friables, con abundante matriz calcárea, localmente presenta fragmentos de moluscos pequeños.

La edad de esta unidad ha sido muy controvertida. Anderson (1926, 1929) la consideró como Plioceno; Link (1927) asigna una edad Pleistoceno Inferior a las Calizas. Royó y Gómez (1942) sugiere una edad Mioceno Superior. Posterior a esta fecha, Hoffstetter y De Porta (1974) indican que esta unidad se ha considerado como Plioceno, pero anota que Sole De Porta (1960) y Hopping (1967) indica que puede corresponder al Pleistoceno. Barrera (en preparación) postula, con base en posición estratigráfica y en la microfauna recolectada recientemente por INGEOMINAS, una edad Pleistoceno para esta unidad.

Sedimentos recientes

Se incluyen con este nombre todas aquellas acumulaciones de sedimentos débilmente consolidados, de origen marino, fluvial y eólico que constituyen la cobertura y suprayacen inconformemente las rocas sedimentarias estratificadas del Terciario y del Cuaternario Inferior. Se han diferenciado los siguientes grandes grupos de depósitos:

Depósitos Coluvio-aluviales (Qcal). Con esta denominación se incluyen los depósitos acumulados en los cauces de los actuales arroyos y los valles intermontanos estrechamente relacionados con éstos. En términos muy generales, están compuestos por arenas, gravas, limos y arcillas, de color pardo grisáceas a pardo amarillentas que embeben fragmentos de areniscas y calizas principalmente.

Depósitos Eólicos (Qe). Depósitos eólicos asociados a la línea de costa, aún en acumulación activa, se presentan en los alrededores de Salgar y en el sector comprendido entre Bocatocino y Galerazamba. Están constituidos por arenas de grano fino a medio.

Depósitos de Llanura de Inundación (Qli). Estos depósitos están restringidos a la parte más septentrional del área, en las márgenes

del Río Magdalena, sus orillares y a las ciénagas asociadas. Están constituidos por arenas de grano fino a medio, de color gris amarillento compuestas por cuarzo, chert, y fragmentos líticos, subangulares a subredondeados con buena selección.

Los sedimentos asociados a las ciénagas son más arcillosos, constituidos por arcillas limosas con materia orgánica, ocasionalmente arenosas, grises parduscas a marrón rojizo.

Depósitos de Playa (Qmp). Se incluyen en este grupo los sedimentos que conforman las playas y las espigas, por ser éstos los rasgos más distintivos de la línea de costa entre Galerazamba y Punta Sabanilla.

Las Espigas de Galerazamba y Puerto Colombia se constituyen en las geoformas costeras más importantes del área. Ambas han presentado una gran movilidad (acortamientos y alargamientos) durante los últimos cuarenta años, probablemente debido a factores climáticos, oceanográficos y geológicos Martínez (1993). Están constituidas principalmente por arenas de grano fino a medio, de color gris claro a gris oscuro, siendo en la Espiga de Puerto Colombia, más oscuras debido a una mayor concentración de minerales pesados.

Las playas de Punta la Garita (Galerazamba), Turipana y Pradomar, son las más amplias del área y están constituidas por arenas de grano fino a medio. Las playas del sector de Punta La Garita y las situadas al este de Bocatocino contienen arenas de grano grueso a muy grueso con gravas.

Geología estructural

El noroccidente colombiano, está localizado en una zona de interacción tectónica entre las placas de Suramérica y Caribe. La convergencia de ellas durante el Terciario dio lugar a la formación de provincias, ampliamente conocidas en la literatura como Cinturón del Sinú en la parte más occidental costera, Cinturón de San Jacinto en la parte central y al oriente de estos cinturones plegados el área de plataforma. Estas provincias están delimitadas por los lineamientos del Sinú y de Romeral (Clavijo & Reyes, 1996).

Específicamente el sector litoral entre Barranquilla y Galerazamba está enmarcado dentro de los bloques San Jacinto y Sinú Norte, de los Cinturones de San Jacinto y del Sinú.

Las mayores deformaciones tectónicas se localizan en los alrededores de Galerazamba, afectando principalmente rocas de las formaciones San Cayetano, Pendales y Arjona. Hacia el oriente, la complejidad estructural es menor, reflejado por suaves y amplios plegamientos en las rocas del Neogeno. Se distinguen dos tendencias principales de fallamiento, uno longitudinal con dirección preferencial NS a N10°E, cuyas características hacen pensar en un sistema de cabalgamiento convergencia oeste y otro transversal N50°-70°W. Los principales plegamientos del área de estudio son:

Anticlinal de Manzanillo. Está localizado al noreste de Galerazamba en las Lomas de Cerro Pelao y Punta Manzanillo, es un pliegue asimétrico con su flanco occidental tumbado hacia el occidente y fallado transversal y longitudinalmente. Esta estructura afecta los estratos arcillosos de la Formación San Cayetano.

Anticlinal del Morro. Localizado inmediatamente al noreste de la Ensenada de Galerazamba, en la Loma del Morro. Se trata de una estructura estrecha, limitada por fallas en sus flancos, con la apariencia de ser una estructura en flor, asimétrica, con su flanco occidental más pendiente que el oriental, siendo incompleta su exposición debido probablemente a que está parcialmente sumergido o ha sido desgastado por la erosión litoral. Está conformado exclusivamente por estratos de la Formación Pendales. Las relaciones estructurales entre las Formaciones San Cayetano y Pendales y las dos estructuras anticlinales mencionadas anteriormente con la Formación Perdices, que las suprayace discordantemente, es aún incierta.

Con respecto al fallamiento, las principales fallas de la franja litoral entre Galerazamba y Barranquilla son:

Falla Villanueva - El Totumo. Localizada en la esquina suroeste del área tiene un rumbo aproximado N25°E y buzamiento hacia el oriente; su trazo se extiende desde el oeste de la Ciénaga del Totumo hacia el norte, bordeando el flanco occidental de la Loma del Morro. Se considera como una de las fallas más importantes del área, debido al contraste estructural a uno u otro lado de esta falla; en efecto, al occidente de la falla se presentan de manera exclusiva las manifestaciones de diapirismo de lodo; por otra parte, los resultados micropaleontológicos de las muestras recolectadas por INGEOMINAS, indican que hacia el oriente

de la falla ocurre una somerización gradual de la cuenca, contrastante con los ambientes batiales profundos de la Formación Arjona al occidente de la falla. Lo anterior permite suponer que las rocas al occidente de esta falla hacen parte del Cinturón del Sinú y probablemente coincide con detalle con el trazo del Lineamiento del Sinú, estructura que separa los cinturones de Sinú y San Jacinto (Duque-Caro, 1980). Al oriente de la falla, las rocas y estructuras tienden a ser más jóvenes y a disminuir en complejidad estructural, siendo ésta una de las características típicas planteadas por Duque et al. (1996) para el Cinturón de San Jacinto.

Falla del Morro. Está localizada al oriente de la Loma del Morro, tiene un rumbo aproximado $N20^{\circ}E$ y se considera como una falla asociada a la falla anterior (Backthrust) buzando hacia el oeste. Por efecto de esta falla, los conglomerados de la Formación Péndales que conforman la Loma del Morro desaparecen abruptamente hacia el oriente y están en marcado contraste estructural (casi ortogonales) con las rocas al sur de la Loma del Cerro.

Falla de Manzanillo. La falla tiene una orientación $N30^{\circ}E$, se ha interpretado como una falla inversa, inclinada al este, que hace parte o está asociada al cabalgamiento principal de la falla del Totumo. Al oriente de la falla afloran estratos de la Formación San Cayetano y al occidente afloran las Formaciones Las Perdices y Pendales.

Fallas Transversales. Fallas, fracturas y lineamientos se presentan con dirección variable hacia el noroeste. Al noreste de la Ciénaga del Totumo se presenta la falla de Hibacharo, que limita hacia el sur las Lomas del Morro y Manzanillo; en las imágenes de satélite se observa claramente su prolongación hacia el suroriente, donde Reyes & Zapata (en preparación) comprobaron que corresponde a una falla de rumbo en sentido sinistral.

Al norte de las playas de Turipana, se observan en las imágenes de satélite, numerosas fracturas que afectan las rocas de la Formación La Popa, entre las que se destaca la falla de Juaruco, que provoca desplazamientos en el sentido del rumbo en las calizas que afloran en los alrededores de los caseríos de Juaruco y el Morro, y un poco más al sur, la falla de Puerto Caimán afecta principalmente la actitud estructural de los estratos de las Formaciones Hibacharo y La Popa.

Descripción del comportamiento del contorno costero

En este capítulo se describe por sectores el comportamiento de la franja litoral comprendida entre el tajamar occidental del Río Magdalena y la Flecha de Galerazamba, como respuesta a la interacción del oleaje, mareas, corrientes marinas, litología y control estructural de las rocas, los cuales, junto con los agentes climáticos, morfología submarina, configuración de la línea de costa y el viento, juegan un papel determinante en la dinámica de la zona. Todas estas particularidades hacen de esta franja litoral una zona inestable donde se presentan cambios significativos en cortos períodos de tiempo, reflejados en fenómenos de erosión y acrecimiento sedimentario.

El relieve costero en esta zona está conformado por unidades geomorfológicas de origen continental, marino, fluvial y fluvio-marino asociadas a costas elevadas y costas bajas (Figuras 4 y 5).

Se consideran como unidades asociadas a costas elevadas aquellas expresiones topográficas con alturas superiores a los 10 m sobre el nivel del mar, entre las cuales se destacan lomas, colinas y plataformas de abrasión elevadas. Las costas bajas corresponden a las unidades que por su origen están ligadas a factores climáticos y procesos costeros, es decir sujetas a la acción del mar, dentro de las cuales se destacan: llanura costera, espigas o flechas, dunas, playas, barras, lagunas costeras o ciénagas, salares, zonas de inundación y planos aluviales. En el área, gran parte de estas geoformas han sido intervenidas antropicamente.

Sector Costero entre la Ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla. Este tramo muestra una dirección preferencial aproximadamente este-oeste, donde predominan geoformas asociadas a costas bajas, definidas por una barra que se desprende del tajamar occidental y se proyecta en dirección sur-oeste en una longitud de 8 km hasta Punta Sabanilla (Figura 4). Sobre este cuerpo arenoso se depositan dunas incipientes que alcanzan pocos centímetros de altura, algunas de ellas estabilizadas por la vegetación. Hacia el este y el oeste, la barra arenosa individualiza las Ciénagas de Mallorquín y Manatíes respectivamente, mientras que el sector central separa una zona cenagosa, asociada a depósitos de llanura

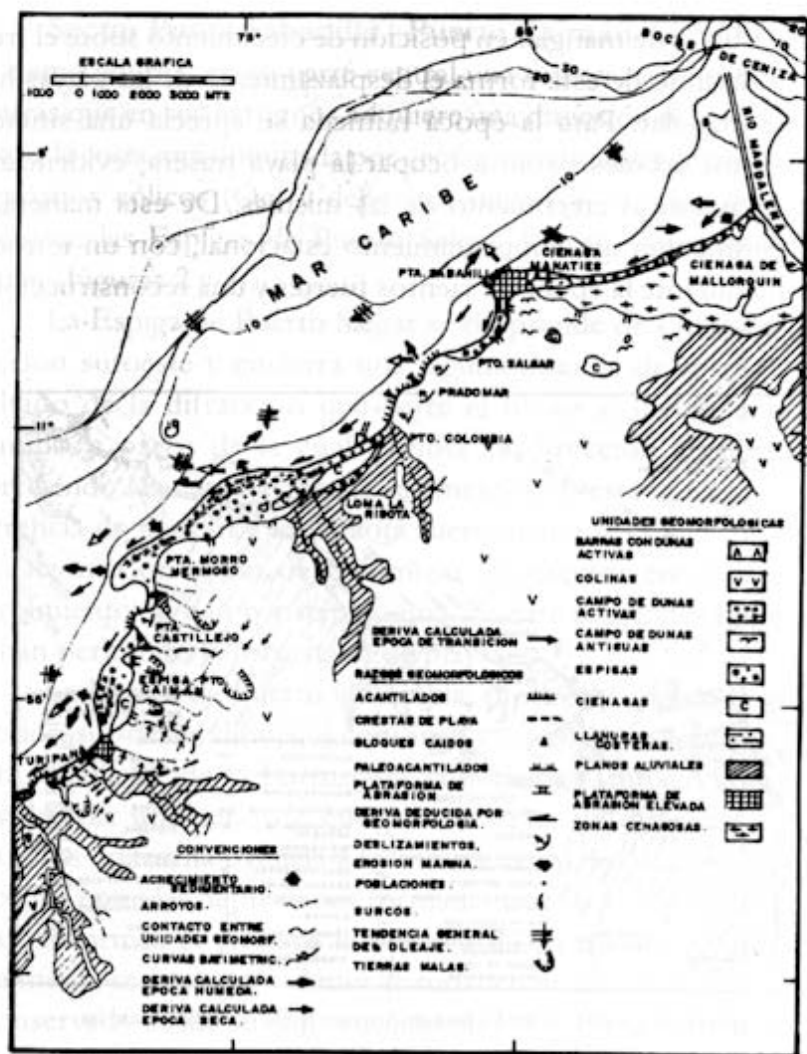


Figura 4. Mapa morfodinámico entre Barranquilla (Bocas de Ceniza) y el arroyo Juan de Acosta

de inundación (Q_{li}) como se ilustra en las figuras 2 y 4. En la Ciénaga de Mallorcaín, la barra es relativamente angosta, con amplitudes mínimas en su parte central de 80 m. Los canales de comunicación con el mar en épocas de tormenta y mares de leva, la hacen susceptible a la invasión del mar como resultado del fuerte oleaje.

El comportamiento erosivo de las playas está asociado al período seco, reflejado en la presencia de abundantes restos vegetales en la playa trasera, resultado de fenómenos de sobrelavado, por escarpes de 0.80 m

de altura y árboles de manglar en posición de crecimiento sobre el frente de playa, indicando de esta forma el desplazamiento de las playas hacia la zona de manglar. Para la época húmeda se aprecia una situación diferente; estos árboles pasan a ocupar la playa trasera, evidenciando con esto el avance o crecimiento de las mismas. De esta manera, las playas experimentan un comportamiento estacional, con un retroceso de su frente durante la época de vientos fuertes y una reconstrucción en época de lluvias.



Figura 5. Mapa morfoodinámico entre el arroyo Juan de Acosta y la Flecha de Galerazamba

La costa alta localizada al oeste aflora en un corto tramo del contorno costero. Está asociada a la plataforma de abrasión elevada de Punta Sabanilla, de edad Cuaternaria y constituida por calizas arrecifales de la Formación La Popa (Qpp). Hacia el este, muestra un aspecto dentado con altura de 3 m, mientras que al sur, el acantilado es del orden de 18 m. En este último tramo se presentan los mayores signos de erosión, representados en deslizamientos, caída de bloques, erosión en la base y probable disolución de carbonatos. Una edificación en el borde del escarpe se expone al peligro de desplomarse (Figuras 2 y 4).

Sector Punta Sabanilla - Puerto Caimán. El perfil costero en este tramo adopta en su parte central una orientación general N50°E, mientras que en sus extremos adquiere una dirección norte - sur. A todo lo largo, la costa está dominada por geoformas de topografía baja asociada a depósitos eólicos (Qe) y depósitos de playa (Qmp), entre las que sobresalen las Espigas de Puerto Salgar, Puerto Colombia y Puerto Caimán (Figuras 2 y 4).

La Espiga de Puerto Salgar se desprende de Punta Sabanilla en dirección suroeste y encierra una laguna interior de forma elongada, resultado de la difracción que sufre el oleaje al incidir sobre Punta Sabanilla, a partir de la cual cambia su dirección y pierde energía favoreciendo la acumulación de sedimentos en esta zona protegida. La ocurrencia de mares de leva azota fuertemente la espiga produciendo inundación. Con el fin de minimizar los efectos erosivos al sur del corregimiento, se han construido una serie de espolones longitudinales que han permitido la formación de playas.

La Espiga de Puerto Colombia, proyectada desde Pradomar en dirección sur-oeste, dibuja el contorno costero hasta inmediaciones de Punta Castillejo de la Formación Hibácharo (Tmh). A todo lo largo individualiza una serie de cuerpos de agua de diferente extensión, dispuestos en forma paralela a la línea de costa, los cuales han quedado atrapados entre las depresiones formadas por las crestas de playa. Entre estas geoformas se destaca la ciénaga de su mismo nombre, donde actualmente se encuentra el muelle turístico de Puerto Colombia que se ha conservado desde su construcción en 1886. En la parte noreste de la espiga, sus playas poco desarrolladas están intervenidas antrópicamente por el desarrollo turístico.

En época seca, sus playas exhiben una pendiente suave (2°) y una amplitud de 30 m, lo que las hace más vulnerables a inundaciones, que se agudizan con la ocurrencia de mares de leva, afectando las viviendas del sector, deteriorando los espolones y gran parte de la barra arenosa que separa la ciénaga de su mismo nombre. Las obras civiles (espolones) en esta zona no han producido el efecto esperado, como pudo observarse en el período lluvioso, cuando al desaparecer completamente la playa trasera fue necesario colocar frente a las viviendas bultos de arena y cemento, que le sirvieron de muro de protección contra la acción de los

procesos erosivos.

A través del tiempo, esta Espiga ha adoptado diferentes posiciones; inicialmente, su parte distal alcanzaba los alrededores de Puerto Caimán. Actualmente, esta geoforma se encuentra erosionada a la altura de Punta Castillejo, dejando al descubierto su promontorio rocoso separando hacia el sur la Espiga de Puerto Caimán, que encierra una laguna en forma elongada.

Durante los últimos 10 años, la Flecha de Puerto Colombia experimenta un acrecimiento sedimentario importante de 900 m en dirección este - oeste frente a Punta Morro Hermoso, donde adopta la forma de gancho. Frente a Puerto Colombia y al norte de la Punta Morro Hermoso, la línea de costa ha sufrido un retroceso de aproximadamente 350 m. Una situación similar se presenta en las espigas de Puerto Salgar y Puerto Caimán, donde el retroceso del perfil costero durante este período fue del orden de 150 y 450 m respectivamente.

En general, la costa baja se muestra en acrecimiento sedimentario evidenciado por la formación de crestas de playa (que representan antiguas líneas de costa) y la individualización de lagunas interiores formadas a partir de las depresiones que se producen entre las crestas de playa.

El perfil costero está interrumpido por tres promontorios rocosos de topografía elevada correspondientes al Castillo, Pradomar y Punta Castillejo. Los dos primeros están dominados por acantilados con pendientes casi verticales y alturas variables entre 25 y 50 m tallados sobre rocas de la Formación La Popa (Qpp), donde son frecuentes los fenómenos erosivos, reflejados por deslizamientos y carcavamientos. El tercero está labrado sobre arcillolitas de la Formación Hibácharo (Tmh) (litológicamente, rocas incompetentes menos resistentes a la erosión).

En cercanías al Castillo se presentó un deslizamiento donde el material fue absorbido directamente por el mar. Indicios de este retroceso son los remanentes rocosos localizados a 8 m de la línea de costa actual. En Pradomar, un deslizamiento ha afectado una gran zona y ha puesto en peligro las edificaciones localizadas al borde del acantilado. Esta situación ha obligado a que se tomen medidas para estabilizar el acantilado por medio de espolones, escalamiento del talud y el revestimiento de la pared del mismo. Punta Castillejo se presenta en forma de saliente rocosa con paredes casi verticales y altura promedio de 6 m. La carencia de

vegetación en el acantilado favorece el desarrollo de surcos y la ocurrencia de deslizamientos, que ponen en peligro una vivienda ubicada en el borde del escarpe.

Sector Puerto Caimán - Cerro Mahates. La orientación del contorno costero muestra una tendencia general N70°E, con predominio de zonas de topografía baja, intercaladas con algunos promontorios rocosos. Las costas bajas están definidas por playas, llanura costera, cordones de dunas y planos aluviales. En este tramo se destacan las playas de Turipana, Furú, Santa Verónica, Salinas del Rey, Ensenada Fray Domingo y Cascabel, que se desarrollan en general en forma tendida, es decir a manera de franjas paralelas a la línea de costa, ocupadas por dunas en su parte trasera. Estas geoformas, al igual que las descritas anteriormente, muestran un comportamiento estacional y los mismos signos erosivos.

Es importante anotar que existe una intervención antrópica significativa, definida por construcciones de vivienda para el desarrollo turístico, con edificaciones en mampostería principalmente en Salinas del Rey y la explotación de cantos de "chert" denominados piedra china, esta última se observa en las playas de Furú.

En las playas de Salinas del Rey y Ensenada de Fray Domingo (Punta de Piedra), la construcción de tómbolos le imprimen un carácter dentado a la costa. En la playa trasera se aprecian amplios campos de dunas de 1.5 m de altura que separan incipientes ciénagas del mar actualmente en proceso de colmatación, definidas en este trabajo como zonas inundables. Para la época seca, la boca de los arroyos Juan de Acosta y Cascabel se cierran por efecto del bajo caudal de los arroyos y por la depositación de los sedimentos transportados por la deriva litoral.

Las costas altas están definidas por cuerpos rocosos donde se destacan las plataformas de abrasión elevadas y zonas de colinas. Las plataformas de abrasión se localizan en Puerto Caimán y oeste del Cerro Vigía, mientras que las lomas corresponden a los cerros Vigía, Furú, Sapo y San Diego asociadas a la Formación Hibácharo (Tmh), que, como se mencionó anteriormente, por su composición litológica (arcillolitas) son más susceptibles a la erosión.

La plataforma de abrasión elevada de Puerto Caimán define un acantilado con tendencia casi vertical, de forma irregular de aproximadamente 5 m de altura, labrada sobre areniscas cohesivas de la Formación

Hibácharo (Tmh). A lo largo de este acantilado, la acción del mar aprovecha las zonas de debilidad de la roca produciendo cavernas.

La plataforma que se extiende entre el Cerro Vigía y el plano aluvial dejado por el Arroyo Juan de Acosta está labrada sobre promontorios rocosos de la Formación Tubará (Tmplt), constituidos por areniscas (rocas competentes más resistentes a los procesos de erosión). Sin embargo, en este lugar las rocas son afectadas por erosión en surcos y cárcavas como resultado de la escasa vegetación. Estos fenómenos, junto con los agentes marinos, le imprimen a la costa un aspecto de forma irregular, donde se observan además algunos pináculos separados 5 m de la línea de costa, evidenciando el alto grado de erosión al que están sometidas las rocas en esta zona. El Cerro Vigía muestra un acantilado de paredes verticales con altura de 8 m, presentando un agrietamiento en su techo paralelo a la corona de deslizamiento observado en el frente del escarpe.

El Cerro Furú, con forma de trapecio, limita hacia el mar por un acantilado vertical de 10 m de altura en su parte media y de 2 m hacia sus extremos. En su base se observan plataformas de abrasión como vestigios del retroceso del acantilado, resultado de la acción abrasiva del oleaje sobre el mismo, que se incrementa en época de vientos fuertes, ocasionando el socavamiento de su base y el consecuente desplome del material del techo.

El Cerro Sapo, de 10 m de altura, desprovisto de vegetación, está afectado por erosión principalmente pluvial con desarrollo de surcos en sus laderas. En esta zona, la playa angosta que precede al acantilado lo protege en cierta forma de la dinámica marina. La Loma San Diego, por su parte, define un acantilado de 10 m de altura con tendencia casi vertical.

Sector Cerro Mahates - Punta la Garita. Está conformado por costas de topografía baja de orientación este - oeste, interrumpida a lo largo de su extensión por cuerpos rocosos que llegan a la costa con una dirección aproximada N50°E. Las costas bajas se encuentran definidas por playas, dunas, llanura costera, planos aluviales y salares.

Las playas se presentan en forma continua entre el sur del Cerro Mahates hasta Morro Pelao como una franja angosta de pendiente suave, en contacto hacia el continente con llanura costera, lomas y el plano aluvial dejado por el Arroyo Bejuco; más al sur se aprecian las playas Astillero y la Garita, las primeras en contacto con dunas antiguas y las

segundas definen la barra litoral que individualiza las salinas de Galerazamba. En general, las playas muestran un comportamiento estacional. Las playas de Astilleros y la Garita, a diferencia de las anteriores, exhiben una pendiente fuerte de 12° y 11° respectivamente, y están compuestas principalmente por arenas gruesas y gravas. Como evidencias de los procesos erosivos se observan escarpes entre 0.40 m y 1.20 m, este último en Astilleros, donde al igual que la Garita es común el fenómeno de sobrelavado y la explotación de gravas denominada comúnmente como piedra china, lo que acentúa los procesos erosivos.

De acuerdo con Martínez (1993), el material de china que se observa en las playas de la Garita es procedente de la Loma del Morro, el cual geológicamente está conformado por un nivel conglomerático en una matriz poco cementada que facilita la degradación del acantilado y el aporte de estos sedimentos al mar, que posteriormente son transportados por la deriva litoral y el fuerte oleaje. Las dunas aparecen ocupando la playa trasera y parte de la llanura costera. En algunos sitios como Astilleros se observan dunas altas que alcanzan a depositarse sobre la Loma del Morro.

El plano aluvial dejado por el Arroyo Bejuco llega al mar en forma aterrizada sobre el cual se deposita una franja de dunas semivegetadas que le proporcionan cierta estabilidad. Al sur, el Arroyo Astilleros desarrolla también un plano aluvial que se comporta como una zona inundable principalmente en períodos de marea alta y mares de leva.

Los salares corresponden a las salinas de Galerazamba, actualmente en explotación, construidas en la ciénaga de su mismo nombre; es descrita por Raasveldt (1958) como una costa baja, separada del mar por una barra, con su canal de acceso ubicado al noreste de la misma.

De norte a sur, las expresiones topográficas elevadas corresponden a los Cerros Mahates, San Vicente, Morro Pelao y Loma del Morro. En este sentido, los dos primeros constituyen cuerpos rocosos de naturaleza incompetente con alturas entre 10 y 70 m asociados a la Formación Hibácharo (Tmh). En San Vicente, las rocas arcillosas se encuentran fuertemente trituradas, con diaclasamiento vertical. El Cerro Mahates muestra un frente acantilado de fuerte pendiente desprovisto de vegetación en algunos sectores, donde son evidentes los deslizamientos y bloques caídos. La ausencia de playas facilita la acción de los procesos erosivos sobre el pie del acantilado.

Debido al carácter friable de las rocas, es común la presencia de surcos, cárcavas y deslizamientos, principalmente en San Vicente, lo cual se agudiza con la carencia de vegetación en el frente del escarpe vertical; otra evidencia de los procesos erosivos es la plataforma de abrasión de 10 m de amplitud localizada en la base del acantilado. Actualmente esta plataforma en cierta medida protege al Cerro de la acción marina, actuando como una barrera, que permanece expuesta durante la época de vientos y facilita la depositación de sedimentos en el período húmedo dando lugar a la formación de playas.

El tramo costero entre Morro Pelao y Punta Manzanillo desarrolla escarpes con tendencia vertical que alcanzan alturas de 7 m, asociados a rocas lodolitas (incompetentes) y areniscas (competentes) de la Formación San Cayetano (Tpsc). La composición litológica de las rocas y la carencia de vegetación favorecen la formación de surcos y cárcavas en el frente del acantilado facilitando la caída de bloques y acelerando los procesos erosivos de la costa en este sector, los cuales se acentúan por la ausencia de playas.

La Loma del Morro, de la Formación Pendales (Tep), se localiza en inmediaciones de Bocatocino. Su naturaleza frágil facilita el ataque de los eventos erosivos, que se producen cuando el oleaje al arribar a la costa socava la base del acantilado permitiendo la posterior caída de bloques y el transporte de los sedimentos hacia la zona sur, que posteriormente son depositados en las playas de Punta de la Garita.

Sector Garita - Lomarena. La Punta de la Garita, por su morfología, facilita los fenómenos de refracción y difracción del oleaje, ocasionando una erosión muy activa especialmente en aquellos sitios donde predomina material de china (gravas, guijarros) y las dunas antiguas. A partir de Punta la Garita el borde costero adopta una dirección nortesur, dominado principalmente por costas de topografía baja, entre las que se destacan la Flecha de Galerazamba y la llanura costera, y, en menor proporción por costas altas correspondientes a la plataforma de abrasión elevada y lomas de forma cómica.

La Flecha de Galerazamba, conformada por un extenso playón con pendiente suave de 2° y 5°, muestra en algunas partes concentración de arenas negras depositadas en forma de capas que alcanzan espesores hasta de 0.20 m. Sobre sus playas se encuentran numerosas lagunas interiores formadas a partir de depresiones ubicadas entre antiguas crestas

de playa, alimentadas por las aguas lluvias y por el mar en época de tormenta. Un ejemplo de esto lo constituye la Ciénaga la Redonda, donde actualmente se está desarrollando un programa sobre la industria artesanal de camaróneras dirigida por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). En la zona central de la flecha se aprecian vestigios de fenómenos erosivos tales como escarpes de 0.30 a 0.80 m., árboles en el frente de playa en posición de vida, raíces descubiertas, troncos y chamizos. La intervención antrópica en este lugar se manifiesta mediante la construcción de canales requeridos para el funcionamiento de las camaróneras y en la explotación de china. En el primer caso, el canal localizado en la parte media de la espiga actúa a manera de pequeño espolón interrumpiendo el tránsito sedimentario en dirección al sur. La segunda produce un desequilibrio de las playas. Estas actividades generan en la flecha modificaciones sustanciales a lo largo de su longitud, que se reflejan en retroceso de las playas.

La costa alta, como se mencionó anteriormente, está definida por la plataforma de abrasión elevada que se extiende entre Galerazamba y la Punta Juan Moreno Sur y por las formas dómicas asociadas a la Formación Arjona (Tma). La plataforma labrada sobre rocas cohesivas (areniscas), altamente tectonizadas, exhibe un acantilado con pendiente fuerte desprovisto de vegetación, alcanzando aproximadamente los 5 m de altura y limitando hacia el mar con una faja estrecha de playa que le sirve de protección contra el ataque erosivo del oleaje. Los diapiros, caracterizados por su drenaje radial, afloran en los alrededores de Galerazamba cortando la llanura costera, destacándose en esta área el volcán del Totumo y el lugar donde se ubica la población de Pueblo Nuevo.

Análisis morfodinámico del perfil costero

Con el propósito de evaluar la línea de costa en el sector comprendido entre Barranquilla (Bocas de Ceniza) y la Flecha de Galerazamba en términos de estabilidad, erosión y acrecimiento sedimentario se dividió el tramo costero en costas altas y costas bajas; así mismo, se realizó una caracterización de la dinámica litoral a lo largo del área.

Costas altas. En forma general, las costas definidas en este estudio como altas, correspondientes a lomas o colinas y plataformas de

abrazión elevadas, Se catalogaron en tres (3) grupos: Críticas, inestables y estables. Los críticos tomados en cuenta fueron: Alta susceptibilidad a los deslizamientos, ubicación geográfica, composición litológica, incidencia del frente de olas sobre la costa, acción de los agentes subaéreos y acción antrópica.

Zonas críticas: los procesos morfodinámicos más sobresalientes corresponden a la socavación en la base del acantilado por la dinámica marina, problemas de inestabilidad como producto de fenómenos de remoción en masa y fenómenos de erosión pluvial e intervención antrópica, reflejada en la construcción de numerosas viviendas ubicadas en proximidades de los acantilados.

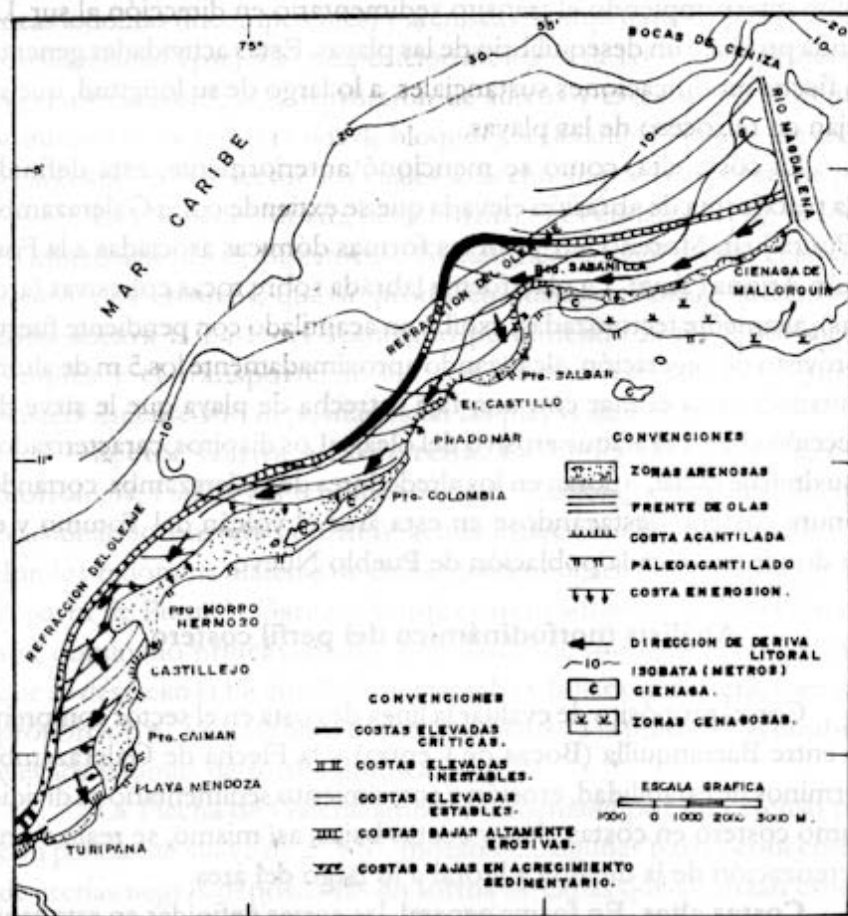


Figura 6. Esquematación de la dinámica marina entre Barranquilla y el arroyo Juan de Acosta

Las zonas catalogadas como críticas definen el tramo costero en una longitud de 4 km, donde se destacan de norte a sur los promontorios rocosos de Punta Sabanilla, el Castillo y Pradomar (Figuras 4, 6 y 7). Por su ubicación geográfica, están expuestos directamente a la dinámica marina, donde la ausencia de playas facilita la acción del oleaje sobre la litología friable de las rocas, produciendo efectos negativos al socavar la base de los acantilados, generando deslizamientos y caída de bloques. Estos procesos, a su vez, son acelerados por agentes subaéreos que forman surcos y cárcavas en las rocas y suelo, al estar desprovistos de vegetación. En esta zona, el inminente retroceso de los acantilados es acentuado por la intervención antrópica a través de construcciones de viviendas en inmediaciones del borde.

Zonas Inestables: las zonas inestables se extienden en una longitud de 36 km y corresponden al sector comprendido entre Punta Castillejo y Punta la Garita, a excepción de la plataforma de abrasión elevada de Puerto Caimán (Figuras 4, 5, 6 y 8). Para su clasificación se consideraron: la acción de los agentes subaéreos, la deforestación en el frente del acantilado y zonas adyacentes, la litología predominantemente de las rocas, constituidas en su mayoría por capas alternantes permeables e impermeables. Esta situación permite la filtración del agua a través de los estratos permeables que se comportan como un fluido, facilitando de esta manera el deslizamiento de las capas impermeables y por consiguiente el desplome del acantilado. Todos estos factores contribuyen a un acelerado retroceso del borde costero ocasionado por la acción continua del oleaje. Esta zona, a diferencia de la anterior, se cataloga como inestable pero no crítica, teniendo en cuenta que en este sector, prácticamente deshabitado, la única que ofrece peligro es la Loma San Vicente, sobre la cual se encuentra una casa campestre construida en proximidades del acantilado, en cuya base se observa una plataforma de abrasión como vestigio del inminente retroceso de la línea de costa.

La Loma del Morro, a pesar de tener una constitución litológica diferente, con predominio de niveles conglomeráticos, también se considera como una zona inestable, donde son comunes los deslizamientos y caída de bloques, los cuales son favorecidos por la escasa vegetación en algunos sectores, la ausencia de playas que amortigüen el ataque de la dinámica marina y el control estructural fallado de sus flancos.



Figura 7. Zona crítica del Castillo ubicado al norte de Pradomar. Obsérvese en los acantilados activos las superficies de deslizamientos y los bloques localizados a 8 m de la costa que evidencian el retroceso acelerado de la misma.

Zonas de Estabilidad: en la franja litoral, las zonas que presentan cierto grado de estabilidad son relativamente pequeñas (3 km), si se comparan con los sectores anteriormente descritos. Dentro de esta categoría sobresalen las plataformas de abrasión elevadas de Puerto Caimán y Galerazamba, constituidas litológicamente por rocas compactas. En la primera, a lo largo de su acantilado, la acción del mar aprovecha las zonas de debilidad de la roca produciendo una especie de cavernas. Sin embargo, por tener una composición litológica compacta, no reviste mayor inestabilidad ni peligro a corto y mediano plazo para las edificaciones que se encuentran sobre ella. Una situación similar experimenta la plataforma de abrasión de Galerazamba, en la cual, aunque los agentes marinos actúan con fuerza durante la mayor parte del año, el acantilado no ha mostrado signos erosivos importantes.

Costas bajas. Las playas son las unidades geomorfológicas que rodean las costas de topografía baja. Presentan mayor susceptibilidad a los cambios significativos que afectan su morfología y textura, principalmente por estar constituidas por material inconsolidado. Es así como en cortos períodos de tiempo pueden presentar procesos de erosión

y crecimiento sedimentario asociados principalmente a la acción climática y dinámica marina.

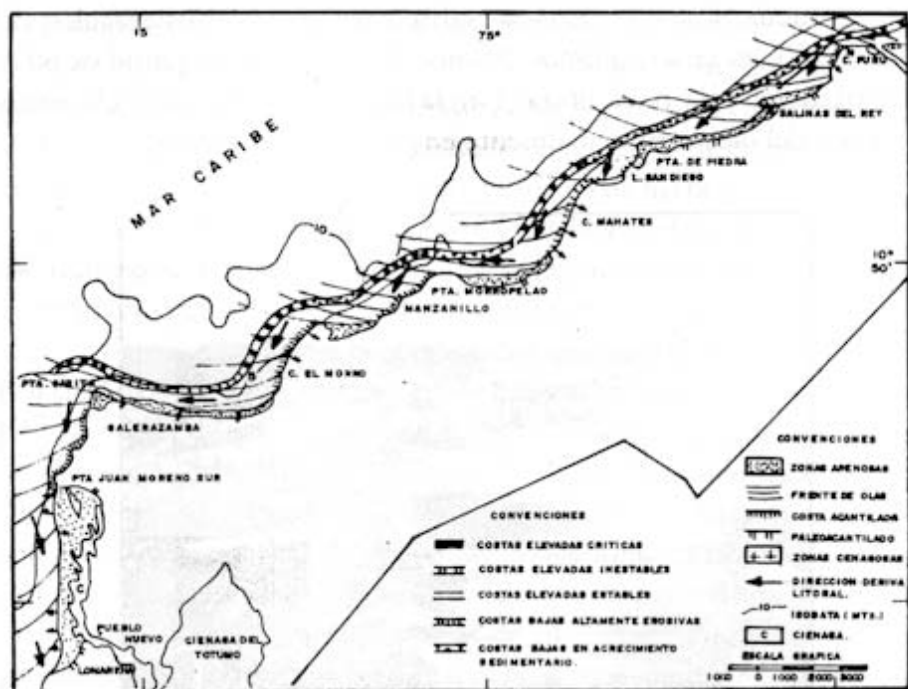


Figura 8. Esquematación de la dinámica marina entre el Arroyo Juan de Acosta y la Flecha de Galerazamba

Las playas del sector estudiado se han agrupado en dos (2) categorías: Altamente erosivas y en crecimiento sedimentario. Los críticos empleados fueron: La presencia de geofformas asociadas (espigas y barras), Propiedades del oleaje incidente, características erosivas (escarpes, fenómenos de sobrelavado, árboles en el frente de la playa, raíces descubiertas, explotación de gravas (chinas), perfiles de playa realizados en ambos periodos climáticos (seco y húmedo) y registro histórico a través de mapas de 1935, fotografías aéreas de 1947 e imágenes de satélite LANDSAT de 1986 y SPOT de 1986, 1995 y 1996

Playas altamente erosivas: dibujan los tramos de costa entre la Ciénaga de Mallorquín, Punta Sabanilla y Puerto Salgar, parte noreste de la Espiga de Puerto Colombia, norte de Punta Morro Hermoso y Salinas de Galerazamba (Figuras 8 y 9). Los fenómenos erosivos en estas costas se han agudizado como consecuencia de la construcción del

tajamar occidental (1935), el cual obstaculiza el tránsito sedimentario proveniente del Río Magdalena ocasionando cambios significativos en la morfología y amplitud de la barra arenosa que individualiza la Ciénaga de Mallorquín, donde la costa ha sufrido retrocesos considerables, del orden de 600 m en los últimos 10 años. Su reducida amplitud de 80 m en su parte central y poca altura (1 m) la hacen más vulnerable a la acción mecánica del oleaje, principalmente en períodos de vientos.

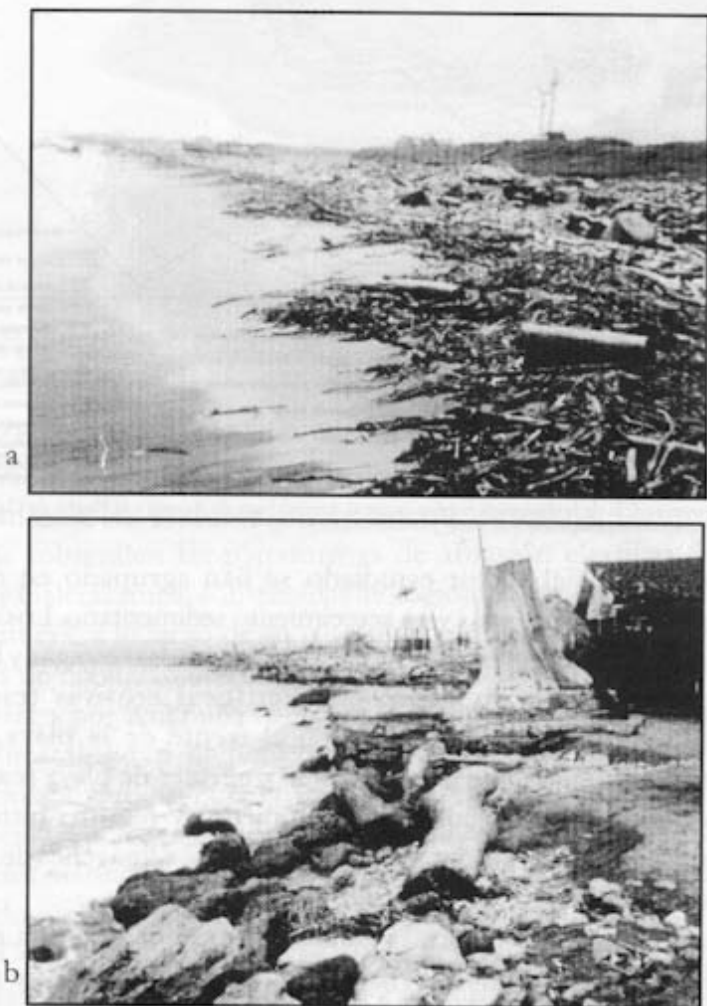


Figura 9. Zonas críticas de Punta Sabanilla y Puerto Colombia. Nótese la evidencia de los procesos erosivos sobre las playas definidas en Punta Sabanilla (a) por fenómenos de sobrelavado y en Puerto Colombia (b) por escarpes de terrazas

uno de los sectores de la zona de estudio, el comportamiento del oleaje presenta características singulares para cada tramo de costa. Se destaca la amplitud del área que bordea la isóbata de los 10 m en el sector ubicado frente a la Espiga de Puerto Colombia (Figura 4). Esta zona, amplia y somera, al igual que frente al sector de la Flecha de Galerazamba, intensifica el proceso de asomeramiento del oleaje, reduciendo en gran medida su energía, lo que proporciona altos índices de estabilidad a las playas de estos sectores. A pesar de la amplitud del sector somero frente a la Ciénaga de Mallorquín, el proceso en esta zona no es similar, y por el contrario, las playas asociadas a la barra muestran índices altos de inestabilidad, debido al desbalance originado por el tajamar occidental.

En general, se observa a lo largo de toda la zona, una tendencia de las playas a presentar índices relativamente altos de estabilidad, como resultado de la presencia de dunas que ocupan la playa trasera y suministran el material necesario para la reconstrucción de las mismas después de épocas de tormenta. Además, las playas están ubicadas en zonas de abrigo que favorecen los procesos de acrecimiento sedimentario y la migración del material sedimentario se produce en dirección al sur, y una vez depositado, contribuye a la formación y acrecimiento de las playas.

Es importante anotar que en zonas marginales el oleaje comienza a sufrir los efectos del fondo (fricción y rompimiento) a una mayor distancia de la costa, lo cual le permite disipar más su energía al llegar a la playa, en comparación con otras zonas, donde la amplitud de la franja somera es de menor amplitud y el oleaje no alcanza a disipar su energía, ocasionando efectos erosivos sobre las playas.

Se presentan zonas de marcada inestabilidad relacionadas con la formación de corrientes de oleaje que intensifican la deriva litoral. La formación de tales corrientes es especialmente importante bajo la acción de los vientos de componente norte y oeste que predominan durante la primera mitad del año.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la franja costera comprendida entre Barranquilla y Flecha de Galerazamba afloran rocas sedimentarias y sedimentos, que comprenden edades desde el Paleoceno Superior hasta el Reciente.

Entre Punta Castillejo y Punta la Garita las corrientes de oleaje muestran una dirección general paralela a la costa durante todo el año, con acción erosiva del transporte litoral en sectores donde el déficit de sedimentos es significativo, como es el caso de la costa alta de Punta Castillejo, donde no alcanzan a llegar los sedimentos al quedarse atrapados al norte de ésta, contribuyendo de esta manera a la ampliación de la parte distal de la Flecha de Puerto Colombia, frente a la Punta Morro Hermoso.

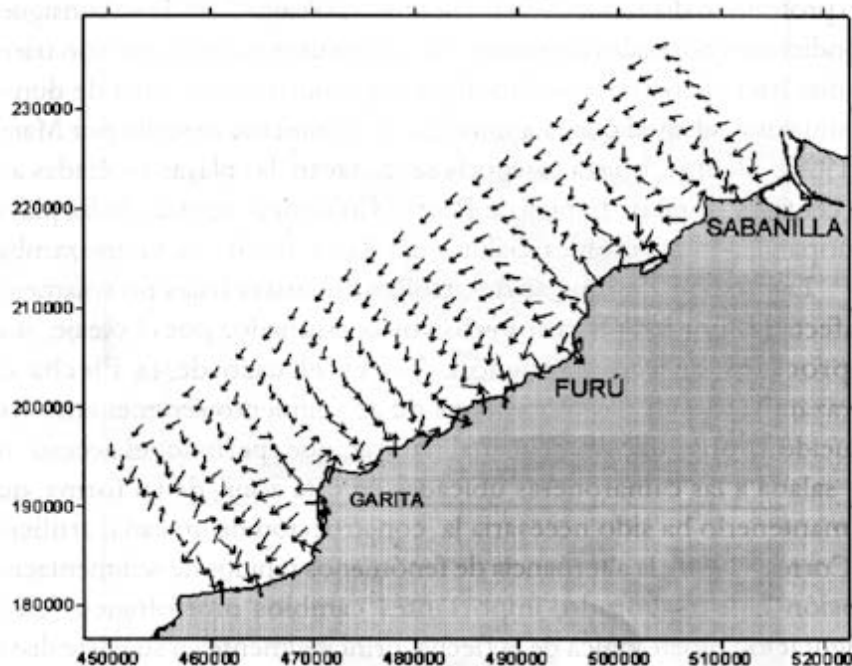


Figura 10. Corrientes generadas por el oleaje del noroeste y resalte de la circulación de la deriva en la costa. (Tomado de Giraldo y Lonin, 1998)

En lo concerniente al sector correspondiente a las costas bajas altamente erosivas, más que cualquier otro en la zona de estudio, se ve seriamente afectado por la intensidad de la deriva litoral en la época de vientos, principalmente entre el tajamar occidental y Punta Sabanilla (Figura 4). El déficit de sedimentos en este sitio, resultado de la construcción del tajamar, es una de las principales causas de inestabilidad de la barra, que sigue retrocediendo en busca de su equilibrio.

Debido a las particularidades de la topografía submarina en cada

Esta franja litoral está dominada por costas altas y costas bajas. En las primeras se destacan colinas, lomas y plataformas de abrasión elevadas; en las segundas sobresalen llanura costera, espigas o flechas, dunas, playas, barras, lagunas costeras, salares, zonas cenagosas con manglar y planos aluviales.

Desde el punto de vista de estabilidad del litoral, las costas altas se clasificaron como zonas críticas (Punta Sabanilla, El Castillo y Pradomar), zonas inestables (Punta Castillejo a Punta la Garita) y zonas estables (Plataforma de Abrasión de Puerto Caimán y Galerazamba). Las costas bajas se catalogaron como altamente erosivas (playas asociadas a la Ciénaga de Mallorquín, parte noreste de la Espiga de Puerto Colombia, norte de la Punta Morro Hermoso y frente a Salinas de Galerazamba) y en acrecimiento sedimentario (tramo comprendido entre la parte distal de la Espiga de Puerto Colombia y sur de Punta Manzanillo, además de la Flecha de Galerazamba).

En el perfil costero se definieron como zonas de inestabilidad litoral aquellos sectores donde se presentan problemas relacionados con las modificaciones de la línea de costa, que se producen no sólo por fenómenos naturales sino por la acción antrópica. Estas modificaciones son debidas a procesos erosivos, los cuales afectan la actividad económica desarrollada en las costas bajas, como es el caso de las salinas de Galerazamba. Así mismo, estas actividades son afectadas por fenómenos de acrecimiento sedimentario, principalmente la industria camaronera que se desarrolla en proximidades a la Flecha de Galerazamba.

De otro lado, en las costas elevadas, la composición litológica de las rocas juega un papel determinante en la configuración del borde costero, siendo más susceptibles a los procesos erosivos las constituidas por material friable (rocas incompetentes o no cohesivas). Entre las costas bajas, las unidades geomorfológicas más vulnerables a la acción marina corresponden a las playas, algunas asociadas a espigas y barras.

En las costas altas críticas e inestables se presentan índices de inestabilidad en las épocas de transición y húmeda. En estas zonas, la dirección de la deriva, paralela a la costa durante todo el año, produce efectos erosivos en zonas donde existe déficit de sedimentos.

En las costas bajas entre la Ciénaga de Mallorquín y Punta Sabanilla, la tasa de erosión es ocasionada por cambios en la dirección e

intensidad de la deriva, producto de la variación estacional del viento y el oleaje por efectos de la morfología costera y del fondo. Este sector, a pesar de presentar una batimetría suave, donde el asomeramiento conduce a pérdida de la energía del oleaje, registra altos índices erosivos en la barra de la ciénaga, como consecuencia del déficit sedimentario ocasionado por el tajamar occidental, que actúa como un gran espolón.

La deriva litoral presenta un carácter claramente estacional, reflejado, básicamente, en la presencia de corrientes de oleaje con dirección hacia mar abierto durante la primera mitad del año, asociadas, por lo general, a sectores de erosión y cambios en la dirección del transporte litoral, en sectores como Punta Sabanilla

Se recomienda para optimizar la planificación de las actividades turísticas e industriales en zonas costeras, realizar estudios previos que contemplen el comportamiento de la dinámica marina, a fin de que no se vean afectados por eventos de erosión o sedimentación.

Así mismo, se debe tener especial atención en aquellas costas elevadas consideradas en este trabajo como zonas críticas por el alto riesgo de peligrosidad al que están expuestas las construcciones localizadas en proximidades de los acantilados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está enmarcado dentro del proyecto de investigación: "Estudio Geológico y Oceanográfico del Litoral Caribe Colombiano, (Barranquilla - Galerazamba), adelantado desde 1995 por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, bajo la asesoría del Centre National de la Recherche Scientifique de Francia, (CNRS) y financiado en forma conjunta por COLCIENCIAS y la Dirección General Marítima, (Cod.0140-09-139-94). Así mismo, los autores agradecen al Doctor Serguei Lonin, al personal profesional y de tecnólogos de la Zona Costera, y a los Suboficiales José María Reyes y Fernando Pineda, quienes con su trabajo apoyaron en el procesamiento de digitalización de la información y en la elaboración de los análisis de laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, F.M. 1926. Original Source of oil in Colombia, *Tulsa*, 10(4): 382-404.
- _____. 1929. Marine Miocene and related deposits of Colombia, *Proc. Calif. Acad. Sci.*, 4th Serv., 18(4): 73-213.
- Barrera, R. (en preparación) Geología de las planchas 16-17 (Galerazamba-Barranquilla), INGEOMINAS, Cartagena, 60 p.
- Caro P, A. Huguett, L. Plazas, L. Vásquez. 1985. Geología del departamento del Atlántico, INGEOMINAS, Informe No. 1940, Bogotá, 135 p.
- Clavijo J., y G. Reyes. 1996. Geología estructural de los cinturones de San Jacinto y Sinú Norte. *Mem. VII Congr. Col. Geol.*, Bogotá, 2 p.
- Chenevart, CH. 1963. Les Dorsales Transverses Anciennes de Colombie et leurs homologues d'Amérique Latine. *Eclogae Geol. Helvetiae*, 52 (2): 58 p.
- Duque Caro, H. 1980. Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana. *Bol. Geol., Ingeominas*, 23(3): 4-37.
- _____; H., G. Guzmán y R. Hernández. 1996. Geología de la Plancha 38. INGEOMINAS. Bogotá, 83 p.
- Giraldo, L. y S. Lonin. 1998. Cálculo del oleaje y transporte de sedimentos en la costa Caribe colombiana, Cartagena. *Bol. Cient. CIOH*, 18: 39-49
- Henao, L.D. 1951. Geología del Departamento de Atlántico. Servicio Geológico Nacional, Informe 754. Bogotá, 21 p.
- Hoffstetter, M. y J. De Porta. 1974. *Léxico Estratigráfico Internacional*. Vol. V, América Latina, Fascículo 4b, Colombia, Terciario y Cuaternario. Centre National de la Recherche Scientifique, París, 692 p.
- Hopping, C.A., 1967. Palynology and the oil industry. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* 2(1-4).
- Link, T.A. 1927. Post-Tertiary strand-lines oscillations in the Caribbean coastal area of Colombia, *South America, J. Geol.*, Chicago, 35(1). 12 p.
- Martínez, J. O. 1992. Geomorfología y amenazas geológicas de la línea de costa del caribe central colombiano. (Sector Cartagena - Bocas de Ceniza), *Publicaciones Geológicas Ingeominas*, 19:1-62.
- Molina, A., A. Pelgrain, J. Suzunaga y L. Giraldo. 1990. Dinámica marina sector galerazamba-Cartagena, *Bol. Cient. CIOH*, 17: 73-78.
- Raasvelt, H.C. 1953. Algunas anotaciones al croquis fotogeológico del departamento del Atlántico. Instituto Geológico Nacional, informe 936. Bogotá, 28p.
- _____. 1958. Lagunas colombianas, contribución a la geomorfología de la costa del mar Caribe con algunas observaciones en las Bocas de Ceniza, *Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fís. Nat.*, 175-199
- Reyes, G., G. Guzmán, G. Barbosa, y G. Zapata. (En preparación). Geología de las Planchas 30, Arjona y 23 Cartagena. INGEOMINAS, 85 p.
- Royo y Gómez J. 1942. Fósiles del Terciario marino del norte de Colombia. *Ingeominas. Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia (CEGOC)*. Tomo V, 26 p.
- Solé De Porta, N., 1960. Observaciones palinológicas sobre el Plioceno de Cartagena (Colombia). *Univ. Industrial de Santander, Bucaramanga. Bol. Geo.*, 4:1-32

FECHA DE RECEPCION: noviembre 10, 1998 FECHA DE ACEPTACION: septiembre 23, 1999

DIRECCIÓN DE LOS AUTORES:

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas-C.I.O.H., División de Estudios Ambientales, Sección de Estudios de la zona costera. E-mail: jsezco@cioh.org.co, (A.M.M.; C.M.M. y L.G.O.) AA. 982, Cartagena, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi- INGEOMINAS, Unidad Operativa Cartagena, Colombia. A.A. 2732, Cartagena, Colombia (R.B.O.).